**جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست، زمستان ۱۳۹۵**

صص ۱۰۸– ۹۱

**DOI: 10.22067/geo.v5i4.56465**

# مقایسه تطبیقی چرخندهای حاره‌ای شمال دریای عرب و دریای عمان طی دهه اخیر ( ۲۰۱۵-۲۰۰۵)

**فائزه شجاع - دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران**

**محمود خسروی[1] - دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران**

**علی‌اکبر شمسی‌پور- دانشیار اقلیم‌شناسی،گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران**

**تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۱٤ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۸/۵**

## چکیده

طوفان‌های حاره از پدیده‌های مهم پیرامون خط استوا هستند که در نیمه گرم سال در نیمکره شمالی یا جنوبی ایجاد می‌شوند. این چرخندها با گذر از اقیانوس و تکیه‌بر منبع عظیم انرژی گرمایی نهان تبخیر، قدرت قابل‌توجهی می‌یابند و در مدت کوتاهی به یکی از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی تبدیل می‌شوند. هدف این مطالعه، مقایسه و تحلیل ساختاری چرخندهای دریای عرب و عمان به‌منظور بررسی نقش پارامترهای جوی، اقیانوسی در تعیین مسیر حرکت آن‌هاست. بدین منظور با استفاده از آمار موجود در مرکز مشترک اخطار طوفان، اطلاعات مربوط به چرخندها تهیه شد. همچنین با استفاده از داده‌های باز تحلیل پایگاهECMWF متغیرهای فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، دمای سطح ۱۰۰۰هکتوپاسکال و دمای سطح دریا در محدودهٔ -۵ تا ٤۰ درجه عرض شمالی و ٤۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی برای مدت‌زمان حیات چرخند استخراج گردید. تولید و تحلیل نقشه‌ها نیز در محیط GRADS و ArcGis با استفاده از تغییرات آزیموت، روابط همبستگی و قوانین کشش و رانش انجام شد. نتایج نشان داد که در لحظه تشکیل، جهت حرکت همه چرخندها به‌غیراز گونو شمال غرب بوده و همبستگی قوی منفی بین دما و فشار سطح دریا در زمان شروع وجود داشته است. اما به‌جز چرخند گونو در سایر چرخندها زمان تغییر مسیر بازمان رسیدن آن به اوج، یکی نیست. تحلیل نقشه‌های فشار سطح دریا نیز نشان داد که مسیر حرکت چرخندهای موردمطالعه از قوانین کشش و رانش پیروی کرده و حاکمیت پرفشارها در فصل سرد باعث شده چرخندهای نیلوفر و چاپالا نسبت به سایر، به سمت عرض-های بالا گسترش پیدا نکنند.

**کلیدواژه‌ها**: چرخندهای حاره، محدوده دریای عرب و عمان، تغییرات آزیموت، قوانین کشش و رانش.

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۱٤۱۲۲۸۱ Email:Khosravi@Gep.usb.ac.ir

**مقدمه**

چرخندهای حاره از پدیده‌های مهم پیرامون خط استوا هستند که بر مناطق جنب حاره در دو نیمکره تأثیر می‌گذارند. این طوفان‌ها عموماً از اقیانوس‌ها و دریاهای حاره‌ای، یعنی جایی که دمای سطح آب دریا حداقل ۲۷ درجه سلسیوس است منشأ می‌گیرند. تا سال ۲۰۰۶ بیشتر دانشمندان بر این باور بودند که سیکلون‌زایی در شمال اقیانوس هند قبل و بعد از مونسون اتفاق می‌افتد، اما توسعه غیرمعمول دو سیکلون گونو و یمین[1] در ماه ژوئن ۲۰۰۷ نگرانی‌هایی را مبنی گرم شدن بیشتر دریای عرب نسبت به خلیج بنگال به وجود آورد به‌طوری‌که گونو را به یکی از قوی‌ترین چرخندهای رخ‌داده در دریای عرب تبدیل کرد (رانا[2] و همکاران،۲۰۱٤:٦۱). سفیر– سیمپسون[3] برای طبقه‌بندی شدت سیکلون‌های حاره‌ای و هاریکن‌ها، مقیاسی را بر اساس پنج مقوله شدت ارائه کردند که عموماً از آن برای طبقه‌بندی خطر سیکلون‌ها استفاده می‌شود (خسروی و پودینه،۱۳۸۹:٦٦).

**جدول ۱. شدت هاریکن‌ها بر اساس معیار سفیر سیمپسون**

| طبقه / مقیاس | پنج | چهار | سه | دو | یک |
|---|---|---|---|---|---|
| نات | ≥۱۳۷ | ۱۱۳–۱۳٦ | ۹٦–۱۱۲ | ۸۳–۹۵ | ٤۲–۸۲ |
| کیلومتر بر ساعت | ≥۲۵۲ | ۲۰۹–۲۵۱ | ۱۷۸–۲۰۸ | ۱۵٤–۱۷۷ | ۱۱۹–۱۵۳ |

پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد با افزایش جهانی دمای سطحی آب دریاها، تعداد و شدت طوفان‌ها از سال ۱۹۷۰ افزایش‌یافته است (امانوئل[4]،۲۰۰۵). همچنین آمارها حاکی از آن است که هرسال افزون بر ۸۰ طوفان حاره‌ای در جهان روی می‌دهد (نئومان[5]،۱۹۹۳) که از این تعداد حدود ۷ درصد از آن‌ها در شمال اقیانوس هند (دریای عرب و خلیج بنگال) رخ‌داده و ۲ درصد فقط در منطقهٔ دریای عرب تشکیل می‌شوند (سازمان هواشناسی جهانی،۲۰۰۸). مهم‌ترین نگرانی دانشمندان هوا و اقلیم‌شناسی در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش کلی زمین و به‌تبع آن وضع آب‌وهوای دهه‌های آتی کره زمین است. به نظر می‌رسد که وقوع طوفان‌های حاره‌ای نوظهور (مثل طوفان گونو و فت) یکی از نشانه‌های تغییر اقلیم در محدودهٔ اقیانوس هند و دریای عرب است (قویدل رحیمی،۱۳۹۰:۱۰۱). عموماً طوفان‌هایی که در دریای عرب تشکیل می‌شوند تمایل دارند که به سمت غرب (عمان) و شمال (پاکستان و هند) حرکت نمایند و به‌ندرت به دریای عمان وارد می‌شوند، آمار انتشاریافته توسط

1 yemyen
2 Rana
3 saffir- Simpson
4 Emanuel
5 Neumann

سـازمان هواشناسـی هنـد نشان می‌دهد که تعدادی از این طوفان‌هـای قـوی وارد دریـای عمـان شـده کـه مـی‌تواننـد سواحل ایـران و عمـان را تحـت تأثیر خـود قـرار دهند (مشهدی و همکاران،۱۳۹۲:۳۸). به دلیل آثار شـدید اقلیمـی و اقتصادی– اجتماعی که چرخندهای حاره بر جای می‌گذارند، در نواحی مختلف دنیا پـژوهش پیرامـون ایـن مسئله از اهمیت زیادی برخوردار بوده و مطالعات متعددی بـر روی آن انجـام‌گرفتـه اسـت. عـالم[1] و همکـاران (۲۰۰۳:۱۱۱۹) چرخندهای منطقهٔ خلیج بنگال را طی سال‌های ۱۹۷٤–۱۹۹۹ موردمطالعه قراردادند و به ایـن نتیجـه رسـیدند کـه ایـن طوفان‌ها دونقطه اوج در ماه‌های می و نوامبر دارند. زو[2] و همکاران (۲۰۰۷:۱۵۲۳) فعالیت چرخنده‌ـای زمسـتانه را در شمال اقیانوس آرام در طول سال‌های ۱۹۵۸–۲۰۰٤ بررسی کردند. همچنین تحلیل سـال‌بـه‌سـال تغییـرات در فرکـانس چرخندهای حاره‌ای ماقبل مونسون حاکی از این است که در ماه می، شروع طوفان‌ها همراه بـا آغـاز بادهـای موسـمی جنوب غربی بوده و در ماه نوامبر زمانی تشکیل می‌شوند که فشار سطح دریا در بخش بزرگـی از خلـیج بنگـال بسـیار بالا باشد (اوان[3] و کامارگو[4]،۲۰۱۰:۱٤۰). بررسی و مطالعهٔ چرخندهای حاره‌ای منطقـهٔ بـنگلادش نیـز نشـان داد کـه ۵ طوفان طی سال‌های ۱۹۸۱، ۱۹۸۸، ۱۹۹۸، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۷ به ناحیهٔ جنوب غربی بـنگلادش اصـابت کـرده و ۵ طوفـان دیگر در سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۲، ۱۹۹۵، ۱۹۹۷ و ۲۰۰٦ محدودهٔ شمال و شمال شرق بنگلادش را تحـت تـأثیر قـرار داده است (وحیدوزمان[5]،۲۰۱۱:۵۳۰). در مطالعات دیگر، داره[6] و مـک بریـد[7] (۲۰۱۱:۳۷۹۸) همچنـین میـی[8] و پاسـکوور[9] (۲۰۱۳:۳۷٤۵) تأثیرات دمای سطح دریا را در ارتباط با چرخندهای حاره مطالعه کردند.

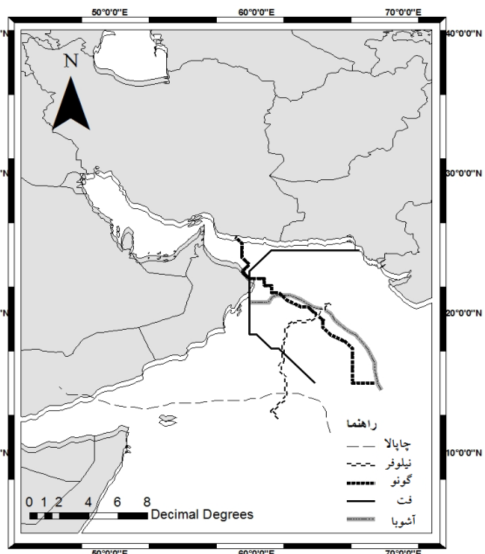
در ایران تحقیقات انجام‌گرفته پیرامون چرخندهای حاره‌ای و ویژگی‌های آن‌ها اندک بوده و به ابعاد گوناگون آن‌هـا پرداخته نشده است. از معدود مطالعات انجام‌گرفته در این زمینه می‌توان به پژوهش گلشنی و تـائبی (۱۳۸۷:۲۵) اشـاره کرد که طوفان حاره‌ای گونو و امواج ناشی از آن را در دریای عمان مدل‌سـازی کردنـد. همچنـین خسـروی و پودینـه (۱۳۸۹:۵٤) تأثیر اقلیمی چرخند حاره‌ای گونو بر جنوب شـرق ایـران را مطالعـه کردنـد، نتـایج حاصـل از نقشـه‌هـای ترکیبی نشان داد که با افزایش قدرت گونو، محور مراکز پرفشار جنب‌حاره‌ای در سطوح پایینی جو بـه سـمت شـرق و در سطوح میانی به سمت شمال جابه‌جاشده است و این جابجایی شرایط را بـرای همرفـت شـدید و بـارش سـنگین مهیا ساخته است از طرفی تغییرات در سمت و سرعت بادهای با تداوم، همزمان با فعالیت گونو بر روی منطقـه، باعـث تغییرات معنی‌داری در آن‌ها در مقایسه با شرایط نرمال اقلیمی گردیده است. لشـکری و کیخسـروی (۱۳۸۹:۱) نیـز بـا

1 Alam
2 Zhu
3 Evan
4 Camargo
5 Wahiduzzaman
6 Dare
7 Mcbride
8 Mei
9 Pasquero

تحلیل سینوپتیکی طوفان گونو، اثرات آن را بر جنوب شرق ایران بررسی کردند. قویدل رحیمی (۱۰۱:۱۳۹۰) با استفاده از معادلات ترمودینامیک و نقشه‌های مربوطه، جریان رطوبت جو طی بارش فوق سنگین ناشی از طوفان حاره‌ای فت در سواحل چابهار را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داد. سلمانیان و همکاران (۷۹:۱۳۹۱) به بررسی و چگونگی پیدایش چرخند حاره‌ای فت و تعیین مسیر حرکت آن بر اساس قاعده کشش و رانش، به همراه اثرات آن بر دو فرا سنج بارش و دما پرداختند، نتایج نشان داد که حرکت چرخند از قاعده کشش و رانش پیروی می‌کنند که می‌توان با استفاده از این قاعده گذرگاه جابجایی طوفان‌های اقیانوس هند شمالی را پیش‌بینی نمود. همچنین تحلیل مخاطرات طوفان حاره‌ای نیلوفر حاکی از این بود که عمیق شدن ناوه تراز ۵۰۰ میلی‌بار با محور جنوب غربی–شمال شرقی یک کم ارتفاع بریده را بر روی دریای عرب پدید آورده که در پی آن یک منطقه همگرایی قوی در ترازهای زیرین جو و بر روی سطح دریا شکل‌گرفته است (قویدل رحیمی،۲۱:۱۳۹٤). هدف این مطالعه نیز، مقایسه و تحلیل ساختاری چرخندهای دریای عرب و عمان به‌منظور بررسی تأثیر تغییرات پارامترهای جوی، اقیانوسی روی مسیر حرکت آن‌ها در محدوده موردمطالعه است.

**منطقه موردمطالعه**

محدودهٔ مورد مطالعه شامل حوضه دریای عرب، عمان و سواحل آن‌ها بوده که در این پژوهش از –۵ تا ٤۰ درجه عرض شمالی و ٤۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی را در برمی‌گیرد (شکل ۱).




**شکل ۱. موقعیت محدودهٔ موردمطالعه (منبع: نگارندگان)**

**مواد و روش‌ها**

داده‌های موردنیاز و روش انجام کار در پژوهش حاضر به شرح زیر می‌باشد:

الف- مشخص کردن وضعیت چرخندهای حاره‌ای گونو، فت، نیلوفر، آشوبا و چاپالا ازنظر سرعت باد، شدت و مسیر حرکت از زمان تشکیل تا اضمحلال و همچنین تعیین نقاط اشتراک و افتراق آن‌ها با استفاده از داده‌های موجود در پایگاه JTWC[1]. مرکز مشترک اخطار طوفان نیروی هوایی و دریایی (JTWC) اطلاعات جامعی از طوفان‌ها را در سامانه‌ای به نام رهیابی بهینه یا Best Tracking ذخیره کرده است (مزرعه فراهانی و همکاران،۲۷٤:۱۳۹٤). اطلاعات سامانهٔ رهیابی بهینه چرخندهای حاره‌ای شامل موقعیت، شدت طوفان و شعاع بیشینهٔ سرعت در فاصله‌های زمانی ٦ ساعته است و مناطقی که این سامانه را پوشش می‌دهند دربرگیرندهٔ طوفان‌های منطقه شمال غرب اقیانوس آرام (WP) شمال اقیانوس هند (IO) و نیم‌کرهٔ جنوبی (HS) هستند (مزرعه فراهانی و همکاران،۲۷٤:۱۳۹٤).

ب- ترسیم مسیر چرخندها در محیط ArcGIS و محاسبه آزیموت مسیر آن‌ها به روش دستی. آزیموت زاویه‌ای افقی است که امتداد موردنظر با راستای شمال و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌سازد. این زاویه بر روی صفحهٔ افق اندازه‌گیری می‌شود.

ب- استخراج نقشه‌های میانگین، از متغیرهای فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، دمای سطح ۱۰۰۰هکتوپاسکال و دمای سطح دریا برای طول دورهٔ لازم از زمان آغاز تا خاتمه چرخند که بدین منظور از داده‌های باز تحلیل پایگاهECMWF، تولیدشده به‌وسیله مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا باقدرت تفکیک مکانی ۰/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی برای ساعتUTC۱۲ استفاده گردید.

ج- ترسیم نقشه‌ها در محیط GRADS و تحلیل و تفسیر آن‌ها با استفاده از روابط همبستگی و قوانین کشش و رانش.

به‌منظور بررسی ارتباط بین دو متغیر فشار سطح دریا و دمای سطح دریا و تأثیر این ارتباط بر مسیر حرکت چرخندها از ضریب همبستگی استفاده شد:

ضریب همبستگی معیاری برای بیان میزان رابطهٔ بین دو متغیر است که از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$p=\frac{\mathrm{cov}(x,y)}{\sqrt{\mathrm{var}(x)\mathrm{var}(y)}}$$ رابطه شماره (۱)

برای محاسبه ضریب همبستگی در درجه اول نیاز به محاسبه و تعیین کواریانس دو متغیر است که به‌صورت cov(x,y) نمایش داده می‌شود.

امروزه روش‌ها و مدل‌های مختلفی در پیش‌بینی مسیر حرکت چرخندهای حاره‌ای وجود دارد. سلمانیان و همکاران (۸۱:۱۳۹۱) نشان دادند که از طریق برقراری ارتباط بین تغییرات فشار در ترازهای پایینی و میانی جو

---

1 Joint Typhoon Warning Center

می‌توان به اصول و قواعدی دست‌یافت که با به‌کارگیری آن‌ها بتوان مسیر حرکت چرخندهای حاره‌ای این بخش از اقیانوس هند را به‌طور قابل قبولی پیش‌بینی نمود مجموعه این اصول به نام قوانین کشش و رانش نام‌گذاری شده است که عبارت‌اند از:

الف– سامانه‌های کم‌فشاری و زبانه‌های آن‌ها (برخلاف سامانه‌های پرفشاری) با هر ماهیتی به سمت یکدیگر کشیده می‌شوند به‌گونه‌ای که مراکز کم‌فشار تر و وسیع‌تر سبب مکش سامانه‌های کم‌فشاری ضعیف‌تر اطراف خود شده که درنهایت تقویت هر چه بیشتر تاوایی سامانه‌های غالب را دربر خواهد داشت.

ب– سامانه‌های پرفشاری باعث رانش و جابجایی هسته‌های کم‌فشاری اطراف خود می‌شوند به شکلی که اگر مراکز پرفشار به‌صورت تقریباً مماس در شمال و غرب هسته‌های صعودی قرار گیرند باعث جابجایی آن‌ها به سمت جنوب و غرب شده و اگر مراکز پرفشار در جنوب و شرق آن‌ها قرار بگیرند منجر به جابجایی هسته‌های کم‌فشار به سمت شمال و شرق خواهند شد. البته این حالت به جهت حرکت مراکز فشار بستگی خواهد داشت به شکلی که اگر هر دو سامانه در جهت خلاف هم حرکت نمایند هیچ کنشی بین آن‌ها وجود نخواهد داشت.

ج– پیش روی دو سامانه پرفشاری به سمت یکدیگر در جهت عمود بر راستای ارتباط دو سامانه کم‌فشاری، باعث قطع ارتباط سامانه‌های کم‌فشاری خواهد شد.

د– قرارگیری یک هسته کم‌فشاری در میان دو پرفشار ایستا در منطقه حاره ترجیحاً با روند شمالی–جنوبی یا شرقی–غربی منجر به تقویت تاوایی هسته کم‌فشار دینامیکی می‌گردد (مرکز همگرایی دریای سرخ).

## نتایج و بحث

۱– بررسی چرخندهای حاره‌ای محدوده دریای عرب و عمان

### الف– چرخند حاره‌ای گونو

گونو قوی‌ترین طوفان حاره‌ای ثبت‌شده در دریای عرب و همچنین شدیدترین چرخند شناخته‌شده در شمال اقیانوس هند می‌باشد (رانا و همکاران،۲۰۱٤:٦۱). این چرخند در ۱ ژوئن ۲۰۰۷ در شرق دریای عرب تشکیل شد و پس از آن به سمت شمال غرب حرکت کرد و با رسیدن به سواحل کشور عمان مسیر خود را به سمت سواحل شمالی دریای عمان تغییر داد و بخش‌هایی از هرمزگان و جنوب سیستان و بلوچستان را تحت تأثیر قرارداد (شکل ۲–A). حداکثر شدت آن در ٤ ژوئن بوده که به شکل یک سوپر طوفان حاره‌ای درآمده و در رده ٤ طبقه‌بندی سفیر سیمپسون قرارگرفته است. در روزهای پنجم و ششم شدت طوفان همچنان بالا بوده ولی به رده‌های ۲ و ۱ نزول کرده است و بالاخره در روز ۷ ژوئن به‌صورت کم‌فشار حاره‌ای درآمده است. جدول ۲ وضعیت طوفان گونو را از زمان آغاز تا خاتمه ازنظر قدرت و مسیر حرکت نشان می‌دهد. با توجه به ویژگی سیکلون‌های حاره در نیم‌کره

شمالی، که جهت گردش بادها خلاف جهت عقربه‌های ساعت است، ترسیم آزیموت مسیر برای چرخند گونو طی روزهای اول تا هفتم نشان می‌دهد که در روز اول زاویه آزیموت برابر ۲۷۰ درجه، کاملاً به سمت غرب بوده و با ۹۰ درجه تغییر مسیر به سمت شمال جابجا شده است. با افزایش سرعت در روزهای چهارم و پنجم ۵۵ درجه به‌طرف غرب منحرف‌شده و جهت شمال غرب– جنوب شرق پیداکرده است. درنهایت با کاهش سرعت چرخند به سمت شمال منحرف‌شده است (روزهای ششم و هفتم) (شکل ۲–A).

**ب– چرخند حاره‌ای فت**

چرخند حاره‌ای فت دومین چرخند قدرتمند ثبت‌شده در دریای عرب می‌باشد (حجاج[1] و بدری[2]،۲۰۱۲:۱۷٤). این چرخند از یک مرکز کم‌فشار در دریای عرب توسعه پیدا کرد و به‌صورت یک اغتشاش حاره‌ای در ۳۱ می سازمان‌دهی گردید و به‌طرف شمال غرب حرکت کرد. در روزهای دوم و سوم در شدیدترین وضعیت خود در رده ۲ مقیاس سفیر سیمپسون قرار گرفت. سامانه در تاریخ ٤ ژوئن در شمال شرق سواحل عمان بین محدوده °N ۲۱/۵۰و°E۵۹/۵۰ فرونشست (شکل ۲–B). تصور بر این بود که با حرکت به سمت شمال–شمال شرق، به سواحل عمان برخورد کند اما در ۵ ژوئن تضعیف شد و با تغییر مسیر به‌صورت کم‌فشار حاره‌ای درآمد و ٦ ژوئن از سواحل پاکستان نزدیک جنوب کراچی عبور کرد. فت یکی از نادرترین چرخندهای رخ‌داده طی سال‌های ۱۸۷۷–۲۰۰۹ در دریای عرب است که با داشتن طولانی‌ترین مسیر در سال‌های اخیر و طول عمری معادل ۷/٦ روز، سه کشور عمان پاکستان و هند را متأثر کرد (حجاج و بدری،۲۰۱۲:۱۷٤). جدول ۲ وضعیت چرخند فت را نشان می‌دهد. چرخند فت از سی ویکم می تا دوم ژوئن روی آزیموت ۳۱۵ درجه قرارگرفته است. با افزایش سرعت در روز دوم، ٤۰ درجه به سمت شمال منحرف‌شده و در روزهای چهارم و پنجم با ٤۰ درجه تغییر مسیر جهت شمال شرق پیداکرده است. در روزهای پنجم و ششم زاویه آزیموت ۹۰ درجه و کاملاً به سمت شرق می‌باشد.

**ج– چرخند حاره‌ای نیلوفر**

چرخند نیلوفر قوی‌ترین چرخند حاره‌ای در سال ۲۰۱٤ در شمال اقیانوس هند می‌باشد. نیلوفر در ۲۵ اکتبر ۲۰۱٤ از یک منطقهٔ کم‌فشار بین هند و شبه‌جزیره عرب به‌صورت یک اغتشاش حاره‌ای منشأ گرفت (شکل ۲–C). در روزهای بعد سیستم شدت گرفت و در ۲٦ اکتبر به یک کم‌فشار حاره‌ای تبدیل گردید. حداکثر شدت آن در ۲۹ اکتبر بود که ازنظر مقیاس سفیر سیمپسون در رده ۳ قرار گرفت و در همان زمان در غرب هند فرونشست. برش قوی باد باعث شد از قدرت طوفان در روزهای بعد کاسته شود و به‌صورت یک منطقه کم‌فشار در ۳۱ اکتبر در محدودهٔ گجرات هند تبدیل گردد. مشخصات چرخند نیلوفر در جدول ۲ نشان داده‌شده است. مسیر حرکت نیلوفر در ۲۵

1 Haggag
2 badry

اکتبر شمال غرب بوده و زاویهٔ آزیموت معادل ۳۱۵ درجه می‌باشد. در ادامه با ۳۰ درجه انحراف از ٢٦ تا ۲۹ اکتبر به سمت شمال حرکت کرده و در روزهای ۳۰ و ۳۱ اکتبر با ٤٠ درجه تغییر مسیر جهت شمال شرق- جنوب غرب پیداکرده است (شکل ۲-C).

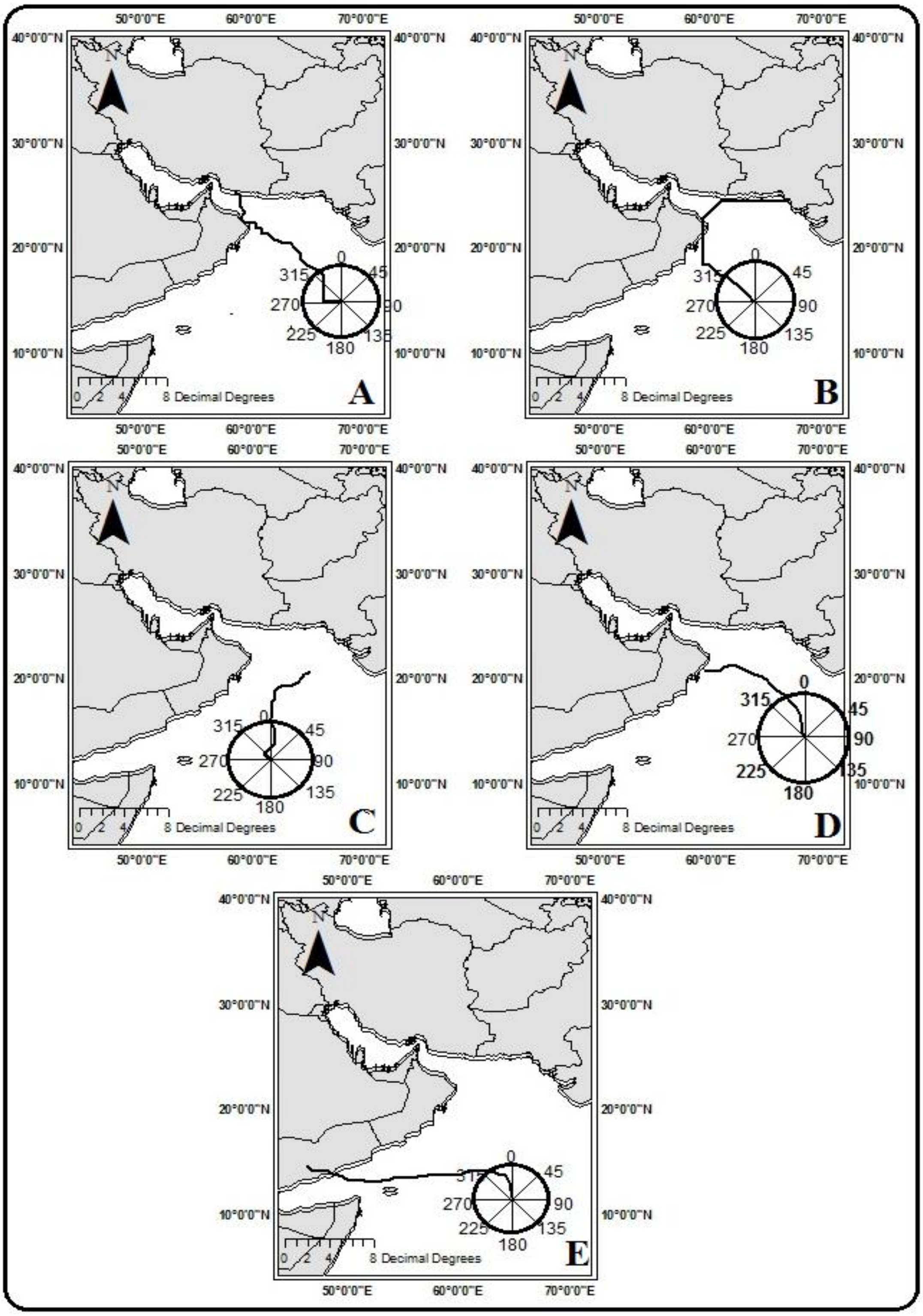
**د- چرخند حاره‌ای آشوبا**

تحت تأثیر شروع به‌موقع مونسون جنوب غرب یک مرکز کم‌فشار بر روی دریای عرب در ٦ ژوئن ۲۰۱۵ تشکیل شد و پس از شدت یافتن به سمت شمال، شمال غرب حرکت کرد. سامانه در هشت ژوئن با سرعت بیشتری تشدید گردید و در همین زمان چرخند حاره‌ای آشوبا نامیده شد (شکل ۲-D). در تاریخ ۹ ژوئن تا ۵۰۰ کیلومتری سواحل عمان نزدیک شد و تا ۱۰ ژوئن به بالای سواحل عمان رسید و پس‌ازآن شروع به تضعیف شدن کرد. در تاریخ ۱۱ و ۱۲ ژوئن آشوبا به‌آرامی به‌طرف غرب، نزدیک جزیره مصیره، در جنوب سواحل عمان حرکت کرد. ازآنجایی‌که سرعت بادها در چرخند آشوبا خیلی زیاد نبود، طبق طبقه‌بندی سفیر سیمپسون در هیچ طبقه‌ای قرار نگرفت (جدول ۲). زاویه آزیموت چرخند آشوبا از ٦ تا ۱۰ ژوئن با انحرافات جزئی تقریباً روی ۳٤٠ درجه قرارگرفته است. در روز ۱۰ ژوئن ۲۰ درجه به سمت جنوب منحرف‌شده و در روزهای ۱۱ و ۱۲ با ۵۰ درجه تغییر مسیر کاملاً جهت غرب پیداکرده است.

**ز- چرخند حاره‌ای چاپالا**

چاپالا در ۲۸ اکتبر ۲۰۱۵ به شکل یک اغتشاش حاره‌ای از یک منطقهٔ کم‌فشار در دریای عرب منشأ گرفت و با حرکت به سمت غرب در ۳۰ اکتبر به حداکثر شدت خود رسید (شکل ۲-E) به‌طوری‌که بر اساس مقیاس سفیر سیمپسون در رده ٤ قرار گرفت پس از رسیدن به نقطه اوج، سیستم شروع به ضعیف شدن کرد و در محدودهٔ خلیج عدن تبدیل به طوفان حاره‌ای شد (۲ نوامبر). پس‌ازآن با حرکت به سمت غرب-شمال غرب از ساحل یمن عبور کرد و با قرار گرفتن در جنوب غرب ریان تبدیل به یک اغتشاش حاره‌ای شد.

مشخصات چاپالا در جدول ۲ نشان داده‌شده است. چاپالا در ۲۸ اکتبر روی آزیموت ۳٦٠ درجه قرارگرفته و جهت شمالی داشته است از ۲۹ اکتبر به بعد با ٤٠ درجه تغییر جهت و انحرافات جزئی به سمت غرب جابجا شده و درنهایت ۳ نوامبر با ۲۰ درجه انحراف به سمت شمال شرق حرکت کرده است.




**شکل ۲. آزیموت مسیر چرخندها: A– گونو، B– فت، C– نیلوفر، D– آشوبا، E– چاپالا ( منبع: نگارندگان)**

**جدول۲. مشخصات چرخندها ازنظر قدرت و مسیر حرکت از زمان تشکیل تا اضمحلال**

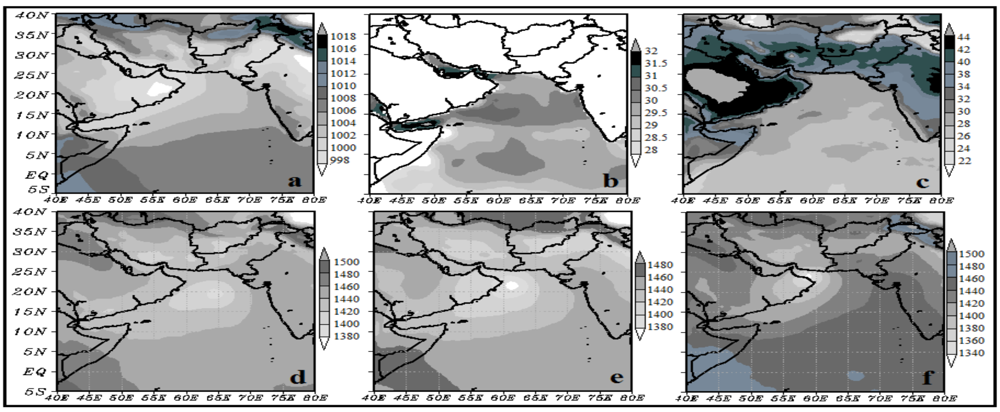
| مشخصات / نام چرخند | درجه | زمان (UTC) | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | فشار مرکزی (hPa) | باد (kn) | درجه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| گونو | ۲۰۰۷/۰۶/۰۱ | ۱۸۰۰ | ۱۵/۰ | ۶۸/۰ | ۱۰۰۲ | ۲۵ | Depression (D) |
| | ۲۰۰۷/۰۶/۰۲ | ۱۲:۰۰ | ۱۵/۰ | ۶۷/۰ | ۹۹۲ | ۴۵ | Cyclonic Storm (CS) |
| | ۲۰۰۷/۰۶/۰۳ | ۱۲:۰۰ | ۱۷/۵ | ۶۶/۵ | ۹۸۸ | ۵۵ | Severe Cyclonic Storm(SCS) |
| | ۲۰۰۷/۰۶/۰۴ | ۱۲:۰۰ | ۲۰/۰ | ۶۴/۰ | ۹۳۴ | ۱۱۵ | Extremely Severe Cyclonic Storm (ESCS) |
| | ۲۰۰۷/۰۶/۰۴ | ۱۵:۰۰ | ۲۰/۰ | ۶۴/۰ | ۹۲۰ | ۱۲۷ | Super Cyclonic Storm (SUCS) |
| | ۲۰۰۷/۰۶/۰۵ | ۱۲:۰۰ | ۲۱/۵ | ۶۱/۰ | ۹۶۰ | ۹۰ | Very Severe Cyclonic Storm (VSCS) |
| | ۲۰۰۷/۰۶/۰۶ | ۱۲:۰۰ | ۲۴/۰ | ۵۹/۰ | ۹۷۰ | ۷۷ | Very Severe Cyclonic Storm (VSCS) |
| | ۲۰۰۷/۰۶/۰۷ | ۰۳:۰۰ | ۲۵/۵ | ۵۸/۵ | ۹۸۸ | ۴۵ | Cyclonic Storm (CS) |
| فت | ۲۰۱۰/۰۵/۳۱ | ۰۶:۰۰ | ۱۵/۰ | ۶۴/۰ | ۱۰۰۱ | ۲۵ | D |
| | ۲۰۱۰/۰۵/۳۱ | ۱۲:۰۰ | ۱۵/۵ | ۶۳/۵ | ۱۰۰۱ | ۲۵ | D |
| | ۲۰۱۰/۰۶/۰۱ | ۱۲:۰۰ | ۱۶/۵ | ۶۲/۵ | ۹۹۴ | ۳۵ | CS |
| | ۲۰۱۰/۰۶/۰۲ | ۱۲:۰۰ | ۱۸/۰ | ۶۰/۵ | ۹۶۴ | ۸۵ | VSCS |
| | ۲۰۱۰/۰۶/۰۳ | ۱۲:۰۰ | ۲۰/۰ | ۵۹/۵ | ۹۷۸ | ۷۰ | VSCS |
| | ۲۰۱۰/۰۶/۰۴ | ۱۲:۰۰ | ۲۳/۰ | ۵۹/۵ | ۹۸۴ | ۶۰ | SCS |
| | ۲۰۱۰/۰۶/۰۵ | ۱۲:۰۰ | ۲۴/۵ | ۶۱/۵ | ۹۹۲ | ۴۰ | CS |
| | ۲۰۱۰/۰۶/۰۶ | ۱۲:۰۰ | ۲۴/۵ | ۶۷/۰ | ۹۹۳ | ۲۵ | D |
| نیلوفر | ۲۰۱۴/۱۰/۲۵ | ۰۰:۰۰ | ۱۲/۵ | ۶۱/۵ | ۱۰۰۴ | ۲۵ | D |
| | ۲۰۱۴/۱۰/۲۵ | ۱۲:۰۰ | ۱۳/۰ | ۶۱/۰ | ۱۰۰۳ | ۲۵ | D |
| | ۲۰۱۴/۱۰/۲۶ | ۱۲:۰۰ | ۱۴/۲ | ۶۲/۰ | ۹۹۴ | ۴۰ | CS |
| | ۲۰۱۴/۱۰/۲۷ | ۱۲:۰۰ | ۱۵/۰ | ۶۲/۰ | ۹۸۲ | ۷۰ | VSCS |
| | ۲۰۱۴/۱۰/۲۸ | ۱۲:۰۰ | ۱۶/۷ | ۶۱/۸ | ۹۵۴ | ۱۰۰ | ESCS |
| | ۲۰۱۴/۱۰/۲۹ | ۰۰:۰۰ | ۱۸/۲ | ۶۲/۰ | ۹۵۴ | ۱۰۵ | ESCS |
| | ۲۰۱۴/۱۰/۲۹ | ۱۲:۰۰ | ۱۹/۲ | ۶۲/۲ | ۹۷۴ | ۸۰ | VSCS |
| | ۲۰۱۴/۱۰/۳۰ | ۱۲:۰۰ | ۲۰/۵ | ۶۴/۶ | ۱۰۰۱ | ۴۰ | CS |
| | ۲۰۱۴/۱۰/۳۱ | ۰۰:۰۰ | ۲۰/۷ | ۶۵/۱ | ۱۰۰۴ | ۲۵ | D |
| آشوبا | ۲۰۱۵/۰۶/۰۷ | ۰۳:۰۰ | ۱۴/۵ | ۶۸/۵ | ۱۰۰۴ | ۲۵ | D |
| | ۲۰۱۵/۰۶/۰۷ | ۱۲:۰۰ | ۱۶/۰ | ۶۸/۰ | ۱۰۰۳ | ۲۵ | D |
| | ۲۰۱۵/۰۶/۰۸ | ۱۲:۰۰ | ۱۸/۶ | ۶۶/۵ | ۹۹۴ | ۳۵ | CS |
| | ۲۰۱۵/۰۶/۰۹ | ۱۲:۰۰ | ۲۱/۰ | ۶۳/۰ | ۹۹۰ | ۴۰ | CS |
| | ۲۰۱۵/۰۶/۱۰ | ۱۲:۰۰ | ۲۱/۲ | ۶۱/۱ | ۹۹۰ | ۴۵ | CS |
| | ۲۰۱۵/۰۶/۱۱ | ۱۲:۰۰ | ۲۰/۸ | ۶۰/۰ | ۹۹۴ | ۳۵ | CS |
| | ۲۰۱۵/۰۶/۱۲ | ۰۰:۰۰ | ۲۰/۸ | ۵۹/۵ | ۹۹۶ | ۲۵ | D |
| چاپالا | ۲۰۱۵/۱۰/۲۸ | ۰۳:۰۰ | ۱۱/۵ | ۶۵/۰ | ۱۰۰۵ | ۲۵ | D |
| | ۲۰۱۵/۱۰/۲۸ | ۱۲:۰۰ | ۱۲/۵ | ۶۴/۷ | ۱۰۰۱ | ۳۰ | DD |
| | ۲۰۱۵/۱۰/۲۹ | ۱۲:۰۰ | ۱۴/۱ | ۶۳/۳ | ۹۹۰ | ۵۵ | SCS |
| | ۲۰۱۵/۱۰/۳۰ | ۰۹:۰۰ | ۱۴/۲ | ۶۰/۸ | ۹۴۰ | ۱۱۵ | ESCS |
| | ۲۰۱۵/۱۰/۳۰ | ۱۲:۰۰ | ۱۴/۱ | ۶۰/۶ | ۹۴۰ | ۱۱۵ | ESCS |
| | ۲۰۱۵/۱۰/۳۱ | ۱۲:۰۰ | ۱۳/۸ | ۵۷/۹ | ۹۵۰ | ۱۰۵ | ESCS |
| | ۲۰۱۵/۱۱/۰۱ | ۱۲:۰۰ | ۱۳/۶ | ۵۴/۶ | ۹۵۶ | ۱۰۰ | ESCS |
| | ۲۰۱۵/۱۱/۰۲ | ۱۲:۰۰ | ۱۳/۴ | ۵۰/۵ | ۹۶۸ | ۸۵ | VSCS |
| | ۲۰۱۵/۱۱/۰۳ | ۱۲:۰۰ | ۱۴/۲ | ۴۷/۳ | ۹۹۸ | ۴۰ | CS |
| | ۲۰۱۵/۱۱/۰۴ | ۰۰:۰۰ | ۱۴/۸ | ۴۶/۵ | ۱۰۰۳ | ۲۵ | D |

**تغییرات فشار و دما در مدت‌زمان استقرار چرخندها**

**الف- گونو**

نقشه میانگین فشار سطح دریا گویای این مهم است که در طول مدت حاکمیت گونو تمرکز سامانه‌های کم‌فشار بیشتر در محدودهٔ N۲۵–۲۰ و E°۶۰–۵۵ بوده است. همچنان که مطابق شکل۳–a سامانه کم‌فشاری با فشار مرکزی ۹۹۸ هکتوپاسکال نواحی مختلف کشور عمان، دریای عمان، تنگه هرمز و بخش‌هایی از خلیج‌فارس را در برگرفته است. در همین زمان در نقشه میانگین دمای سطح دریا مشاهده می‌شود که حداکثر دما مربوط به مناطقی است که از فشار مرکزی بسیار پایینی برخوردار هستند به‌طوری‌که نواحی دریای عمان تا بخش‌هایی از خلیج‌فارس دماهای ۳۱ تا ۳۲ درجه سلسیوس را تجربه می‌کنند (شکل۳–b). علیرغم اینکه منحنی ۱۰۰۵هکتوپاسکال محدوده خلیج عدن را در برگرفته اما دمای سطح دریا در این ناحیه بالاست. با توجه به شکل۳-c متوسط دمای هوا در سطح ۱۰۰۰هکتوپاسکال بر دمای سطح دریا تقریباً منطبق است و نواحی مختلف دریای عرب بالاترین مقادیر را دارا می‌باشند.

در روزهای نخست شکل‌گیری چرخند گونو پرفشار جنب حارهٔ مستقر در جنوب و جنوب غرب شبه‌قاره هند زمینهٔ فشار به چرخند و جابه‌جایی آن به سمت عرض‌های بالا را فراهم کرده است مطابق شکل ۳ که روزهای اوج چرخند گونو را نشان می‌دهد (چهارم، پنجم و ششم ژوئن)، سامانه‌های پرفشار از سه طرف آن را احاطه کرده‌اند و از طرف دیگر، پرفشار مستقر بر روی هندوستان با تشکیل پشته قوی تا جنوب پاکستان پیشروی کرده است و این مسئله منجر به قطع ارتباط کم‌فشار مونسون با سامانه‌های کم‌فشار دریای عرب گردیده است (اصل سوم از قاعدهٔ کشش و رانش). با توجه به اینکه سامانه‌های کم‌فشار قوی‌تر سبب مکش نواحی ضعیف‌تر می‌شوند، طی روزهای بعد مرکز کم‌فشار مستقر در نواحی داخلی ایران به سمت جنوب شرق کشیده شده و با چرخند مستقر بر روی دریای عمان ادغام می‌گردند (اصل یک از قاعده کشش و رانش).

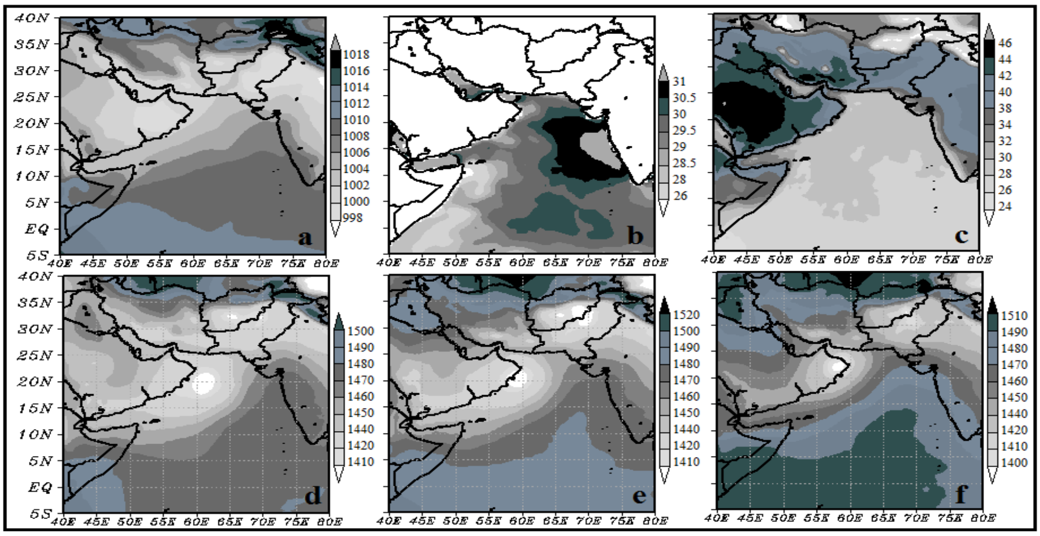


**شکل ۳. نقشه‌های تغییرات فشار سطح دریا (a)، دمای سطح دریا (b)، دمای سطح ۱۰۰۰ه پ (c)، فشار سطح ۸۵۰ ه پ روزهای چهارم ژوئن ۲۰۰۷(d)، پنجم ژوئن (e)، ششم ژوئن (f)**

**ب- فت**

وجود هسته‌های کم‌فشار مستقر در سواحل شمالی و جنوبی عمان و همچنین پاکستان بیانگر وضعیت تأثیر نواحی مذکور از چرخند حاره‌ای فت می‌باشد (شکل ٤-a). نقشهٔ متوسط دمای سطح دریا نشان می‌دهد که بیشینه دما در غرب و جنوب غرب شبه‌قاره هند ثبت گردیده و با توجه به شکل ٤-b در محدودهٔ شکل‌گیری فت، دمای سطح دریا معادل ۳۰ درجه سلسیوس می‌باشد. نواحی دریای عمان نیز بیشترین دمای هوا در سطح ۱۰۰۰هکتوپاسکال را نشان می‌دهد (شکل ٤-c).

با توجه به شکل (٤-f-e-d)که مربوط به‌روزهای دو، سه و چهار ژوئن ۲۰۱۰ می‌باشد گسترش رو به شمال پرفشار مستقر در جنوب غرب شبه‌قاره هند به همراه پشته قوی سبب رانش چرخند فت به سمت غرب و شمال غرب گردیده و در روزهای آتی حاکمیت گسترش پرفشار جنب حاره در نواحی جنوبی دریای عرب و شبه‌جزیره عربستان مانع تمرکز بیشتر فت بر روی عمان شده است. با عقب‌نشینی پرفشار هند به سمت عرض‌های جنوبی، سامانه‌های کم‌فشار در محدودهٔ پاکستان گسترش قابل‌ملاحظه‌ای پیداکرده‌اند و چون ازنظر فشار مرکزی ضعیف‌تر از فت هستند، به سمت چرخند قوی فت جذب‌شده و در جنوب پاکستان با یکدیگر ادغام می‌شوند.

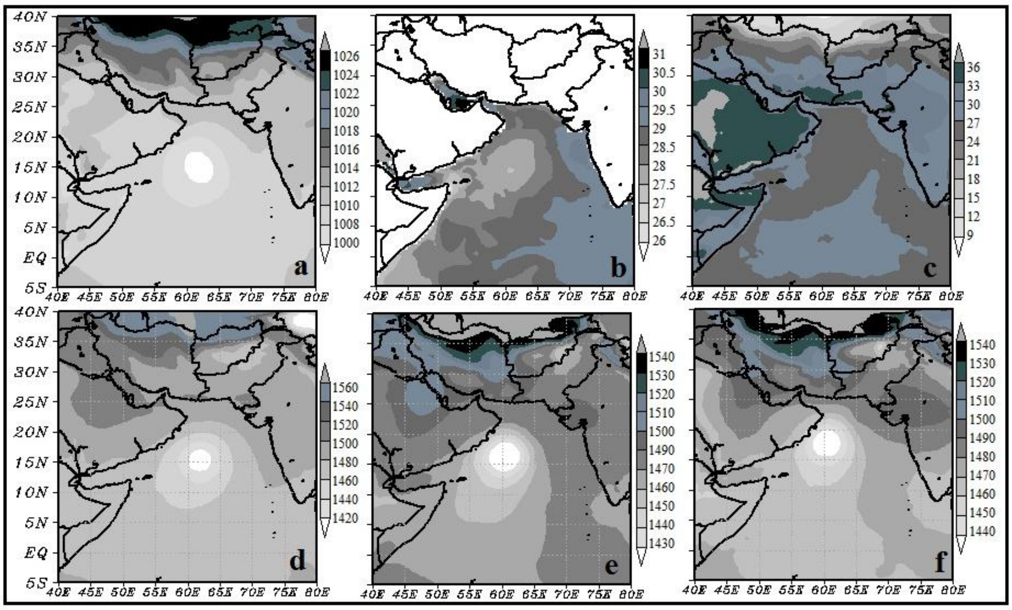



**شکل ٤. نقشه‌های تغییرات فشار سطح دریا (a)، دمای سطح دریا (b)، دمای سطح ۱۰۰۰ه پ (c)، فشار سطح ۸۵۰ ه پ روزهای دوم ژوئن ۲۰۱۰(d)، سوم ژوئن (e)، چهارم ژوئن (f)**

**ج- نیلوفر**

چرخند نیلوفر نسبت به سایر چرخندهای موردمطالعه در این پژوهش گسترش کمتری داشته است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود طبق نقشه متوسط فشار سطح دریا ، فشار مرکزی در محدوده وقوع چرخند، ۱۰۰٦ هکتوپاسکال

است (شکل۵–a) همچنین بیشترین دمای سطح دریا و دمای هـوا در محـل تشـکیل چرخنـد بـه ترتیـب ۲۸/۸ و ۲۷ درجه سلسیوس می‌باشد (شکل۵–c و b). نقشه‌های فشار که مربوط به‌روزهای ۲۷، ۲۸ و ۲۹ اکتبر می‌باشـد حاکمیـت وسیع پرفشارها در شمال افغانستان و پاکستان همچنین شمال دریای خزر را نشان می‌دهد که زبانه‌هـای آن تـا نـواحی داخلی و جنوب شرق ایران کشیده شده و مانع جابجایی نیلوفر به عرض‌های جغرافیایی بالا گردیـده اسـت. از سـوی دیگر پرفشار حاکم بر روی هند با هسته مرکزی ۱٤۹۰ژئوپتانسیل متر زمینه را برای رانش نیلوفر به‌طـرف شـرق فـراهم می‌کند که در روزهای آخر با حرکت این پرفشار به شمال شرق هند شرایط مناسبی برای ادغام چرخند نیلوفر بـا کـم-فشارهای جنوب هند فراهم می‌گردد (شکل ۵-d-e-f).

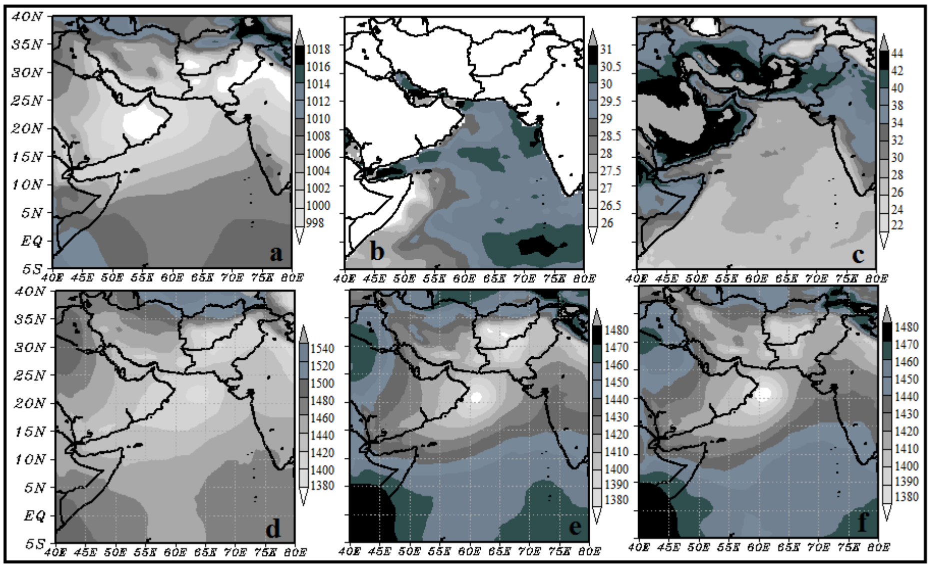


**شکل ۵. نقشه‌های تغییرات فشار سطح دریا (a)، دمای سطح دریا (b)، دمای سطح ۱۰۰۰ه پ (c)، فشار سطح ۸۵۰ ه پ روز ۲۷ اکتبر ۲۰۱٤(d)، ۲۸ اکتبر (e)، ۲۹ اکتبر (f)**

**د- آشوبا**

در زمان استقرار چرخند آشوبا سامانه‌ای کم‌فشار بـا فشـار مرکـزی ۹۹٦ هکتوپاسـکال سـواحل جنـوبی عمـان را دربرگرفته و زبانه‌ای از آن جنوب و جنوب شرق ایران را نیز تحت تأثیر قرار داده است. در همین زمان دو هسـته کـم-فشار دیگر با فشار مرکزی ۱۰۰۰ و ۹۹۸ هکتوپاسکال به ترتیب بر روی افغانستان و پاکستان دیده مـی‌شـود (شـکل٦–a). نقشه متوسط دمای سطح دریا در این زمان گویای این است که بیشـترین دماهـا بـا ۳۱ درجـه در دریـای عمـان و بعدازآن نواحی جنوب و شمال دریای عرب و خلیج عدن می‌باشند که به ترتیب دماهای ۳۰/۵ و ۲۹ درجه سلسـیوس

را تجربه می‌کنند (شکل٦-b) دریای عمان و خلیج عدن در زمان گسترش آشوبا نیز بیشترین دمای هوا را در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال دارا می‌باشند (شکل٦-c).بررسی وضعیت فشار در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال که روزهای ۸ ۹ و ۱۰ ژوئن ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد (شکل ٦) حاکی از این است که در روزهای نخست تشکیل چرخند حاره‌ای آشوبا مراکز کم‌فشار مستقر در دریای عرب و شمال شبه‌قاره هند و پاکستان به شکل متصل هستند اما وجود پرفشارهای شمال شرق ایران و ترکیه که زبانه‌های آن تا عرض‌های جغرافیایی پایین کشیده شده باعث قطع این اتصال شده و آن‌ها را به‌صورت مراکز کم‌فشار مستقل درآورده است در روزهای بعد نیز سامانه‌های پرفشار جنوب دریای عرب و نواحی شمالی شبه‌جزیره عربستان مانع جابجایی چرخند آشوبا شده و باعث گردیده که این سامانه در جنوب کشور یمن و نواحی جنوبی دریای عمان متمرکز گردد.

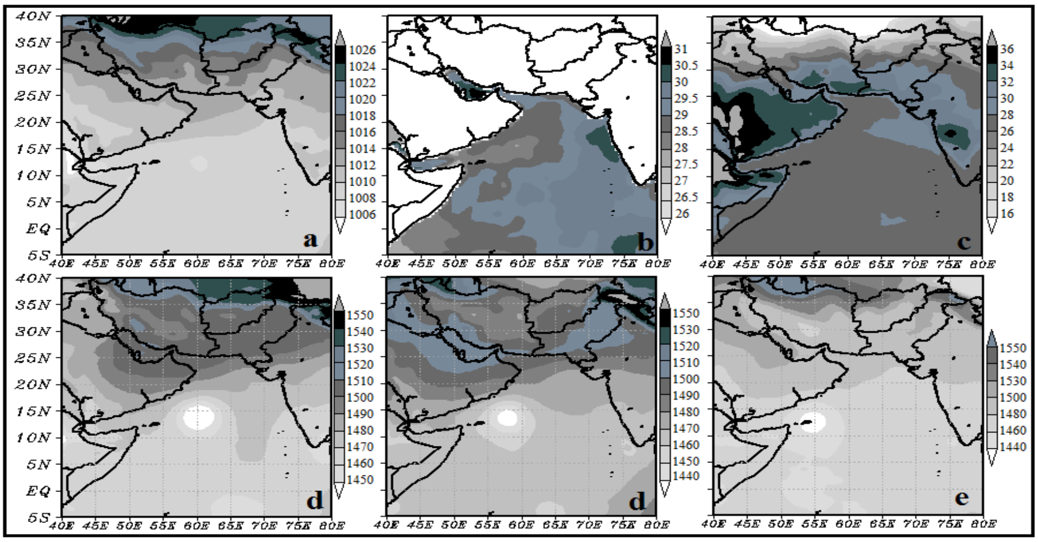


**شکل ٦. نقشه‌های تغییرات فشار سطح دریا (a)، دمای سطح دریا (b)، دمای سطح ۱۰۰۰ه پ (c)، فشار سطح ۸۵۰ ه پ روز ۸ ژوئن ۲۰۱۵(d)، ۹(e)، ۱۰(f)**

**ز- چاپالا**

با توجه به اینکه مسیر حرکت چاپالا به سمت کشور یمن می‌باشد، هسته‌های کم‌فشار نیز با فشار مرکزی معادل ۱۰۰۸ هکتوپاسکال در مرکز دریای عرب و بر روی خلیج عدن مستقر گردیده‌اند (شکل۷-a). در نواحی استقرار چرخند چاپالا متوسط دمای سطح دریا ۲۹ و دمای هوا در مرکز دریای عرب ۲۷ ولی در محدودهٔ خلیج عدن ۳۰ درجه سلسیوس می‌باشد (شکل۷-b-c).در زمان حاکمیت چاپالا عرض‌های جغرافیایی بالا محل سیطره سامانه‌های پرفشار می‌باشد و همین عامل مانعی برای کشش و جابجایی این چرخند به‌طرف شمال می‌شود. از طرف دیگر،

سامانه‌های کم‌فشار مستقر در محدوده خلیج عدن و جنوب کشور یمن، به سمت غرب کشیده شده و با کـم‌فشـارهای مستقر بر روی دریای عرب یکی می‌شوند شکل۷–f–e–d روزهای ۳۰، ۳۱ اکتبر و ۱ نوامبر ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد.



**شکل ۷. نقشه‌های تغییرات فشار سطح دریا (a)، دمای سطح دریا (b)، دمای سطح ۱۰۰۰ه پ (c)، فشار سطح ۸۵۰ ه پ روز ۳۰اکتبر ۲۰۱۵(d)، ۳۱ اکتبر (e)، ۱ نوامبر (f)**

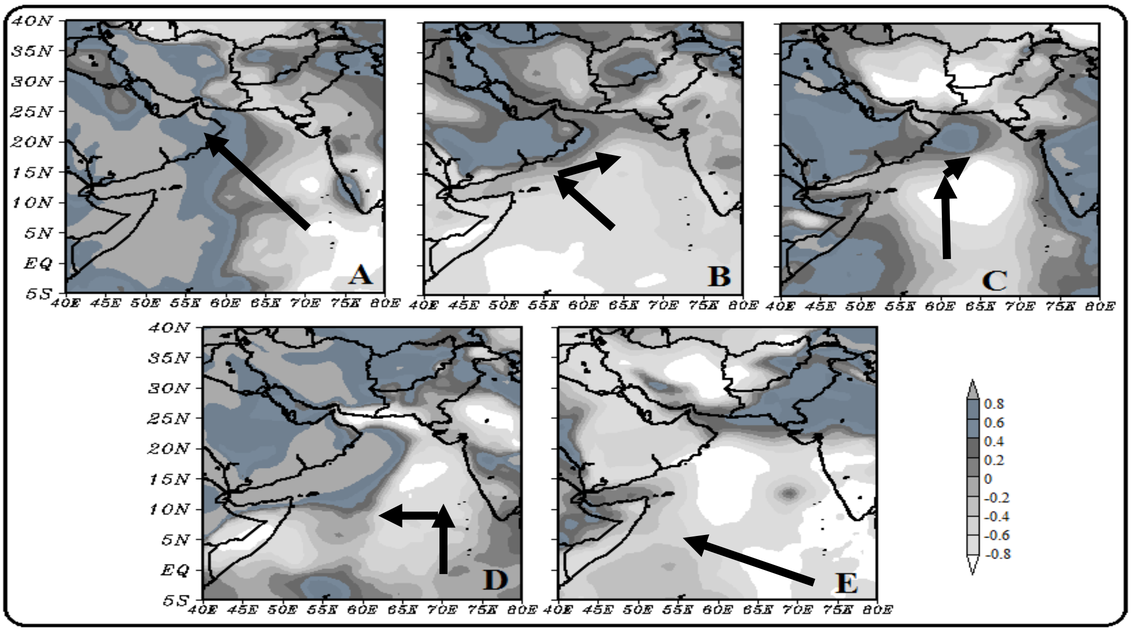
**مقایسهٔ مسیر چرخندها**

به‌منظور بررسی تأثیر همزمان دما و فشار سطح دریا در ایجـاد چرخنـدهـای حـاره از روابـط همبسـتگی اسـتفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که در لحظهٔ تشکیل چرخند همبستگی قوی منفی بین دمای سطح دریا و فشـار وجـود دارد و ازآنجایی‌که با افزایش دما فشار کاهش پیدا می‌کند در ادامهٔ مسیر، از شدت همبستگی منفی کاسته شـده و بـه سـمت مثبت متمایل می‌شود درچرخندهای گونو و آشوبا به علت افزایش شدید دمای سـطح آب در دریـای عمـان و خلـیج عدن میزان همبستگی در روزهای آخر به ۰/۸ می‌رسد (شکل ۸).

همچنین بررسی و مقایسهٔ چرخندهای محدودهٔ موردمطالعه نشان می‌دهد که زمان رسـیدن بـه نقطـهٔ اوج در همـهٔ چرخندها یکی نیست گونو بعد از گذشت ٦٦ ساعت از زمان تشکیل به نقطه اوج رسید و چرخندهای فـت، نیلـوفر و چاپالا به ترتیب بعد از ٥٤، ٨٤ و ٥٧ ساعت از زمان شکل‌گیری بـه نقطـه اوج رسـیدند و آشـوبا از مرحلـهٔ کـم‌فشـار حاره‌ای فراتر نرفت. از طرفی، تغییرات ناگهانی در مسیر حرکت چرخندها ممکن اسـت درنتیجـهٔ افـزایش یـا کـاهش ناگهانی سرعت باشد کـه ایـن مسـئله منجـر بـه بـاقی مانـدن موقـت چرخنـد در همـان وضـعیت مـی‌شـود (وو[1] و

1 Wu

همکاران،۲۰۱۳:۲۵۹۸) ولی زمان تغییر مسیر نیز با زمان رسیدن به اوج در همه چرخندها یکی نیست. در چرخند گونو افزایش ناگهانی سرعت در روز چهارم و ششم زاویه آزیموت را تغییر داده و چرخند فت نیز با افزایش سرعت در روز دوم مسیرش به سمت غرب منحرف‌شده است. در نیلوفر تغییرات سرعت به‌تدریج اتفاق افتاده ولی تغییرات مسیر به‌طور کامل از سرعت تبعیت نکرده است در چاپالا نیز تغییرات سرعت و مسیر باهم یکسان نبوده و در شرایطی مسیر چرخند به‌طرف غرب منحرف‌شده که سرعت از ۳۵ به ٤۰ نات رسیده است. بالاخره اینکه شدت این چرخندها به‌تنهایی برای رسیدن به سواحل عمان کافی نیست چون چرخند چاپالا با سرعت ۲۱۳ کیلومتر در ساعت به سمت کشور یمن حرکت کرد.




**شکل ۸. همبستگی بین فشار و دمای سطح دریا: A– گونو، B– فت، C– نیلوفر، D– آشوبا، E– چاپالا**

## نتیجه‌گیری

گرمایش جهانی و بروز تغییرات اقلیمی موجب افزایش فراوانی و شدت رخداد مخاطرات اقلیمی در قرن حاضرشده است. چرخندهای حاره‌ای با توجه به ریزش‌های شدید باران و سرعت‌بالای باد همراه آن‌ها به‌محض ورود به منطقه، خسارت‌های جانی و مالی جبران‌ناپذیری بر جای می‌گذارند و از مهم‌ترین مخاطرات جوی هستند که سواحل مناطق جنوبی ایران را تهدید می‌کنند. با توجه به اینکه تغییرات ناگهانی مسیر حرکت چرخندها مخصوصاً در نزدیکی سواحل باعث می‌شود نه‌تنها پیش‌بینی‌ها بلکه مدیریت بحران طوفان‌های حاره هم دچار اختلال و بی-نظمی گردد، در این پژوهش سعی بر این بوده با توجه به داده‌های موجود جهت حرکت چرخندها تحلیل گردد.

بدین ترتیب ابتدا تغییرات آزیموت مسیر چرخندها از زمان تشکیل تا اضمحلال موردبررسی قرار گرفت تا مشخص شود تغییرات جهت و سرعت تا چه اندازه از یکدیگر تبعیت می‌کنند. نتایج نشان داد به‌جز چرخند گونو که تغییرات مسیر تابع افزایش و کاهش ناگهانی سرعت بوده در سایر چرخندها این تغییرات، روند مشخصی را دنبال نمی‌کنند. با بررسی نقشه‌های فشار و دمای سطح دریا، همچنین دمای سطح ۱۰۰۰هکتوپاسکال این نتیجه حاصل شد که در گونو و آشوبا نواحی حداقل فشار و حداکثر دمای سطح دریا و سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر هم منطبق بوده است، در همین راستا همبستگی بین این دو عامل در گونو و آشوبا به‌خوبی مشخص است در سایر چرخندها مناطقی که درنهایت چرخند در آنجا نابود می‌گردد، حداقل فشار و حداکثر دمای هوا را تجربه می‌کنند اما دمای سطح دریا نوسانات قابل‌ملاحظه‌ای ندارد. تحلیل نقشه‌های فشار سطح دریا نیز نشان داد که چرخندهای مذکور از قوانین کشش و رانش پیروی کرده و مسیر حرکت آن‌ها متأثر از نحوۀ حرکت و جابجایی مراکز کم‌فشار و پرفشار بوده است. با توجه به نتایج حاصل‌شده در این مطالعه، در طول فصل گرم سال حاکمیت مناطق کم‌فشار در عرض‌های بالا و گسترش پرفشار جنب حاره در عرض‌های پایین، زمینه را برای جابجایی چرخندهای گونو، آشوبا و فت به سمت عرض‌های جغرافیایی بالا و نفوذ در خشکی فراهم کرده است اما چرخندهای نیلوفر و چاپالا به علت تمایز در فصل تشکیل و حاکمیت پرفشارها در شمال دریای خزر، شمال افغانستان و پاکستان، شرایط حرکت به عرض‌های بالا را پیدا نکرده‌اند. درنتیجه گسترش مراکز فشار و فصل تشکیل، نقش مهمی در جابجایی چرخندها و نفوذ آن‌ها در سواحل شمالی و جنوبی عمان خواهد داشت.

**کتابنامه**


خسروی، محمود؛ پودینه، محمدرضا؛ ۱۳۸۹. تحلیلی بر تأثیرات اقلیمی چرخند حاره‌ای گونو ( خرداد ۱۳۸٦) بر جنوب شرق ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۲. صص ۷۲–۵۳.

سلمانیان، فرزاد؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ زارعی، کبری؛ ۱۳۹۱. واکاوی همدید پیدایش و گسترش توفند حاره‌ای فت در جنوب غرب آسیا. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال سوم، شماره ۱۱. صص ۹۸–۷۹.

قویدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۹۰. نگاشت و تحلیل همگرایی جریان رطوبت جو طی بارش فوق سنگین ناشی از طوفان حاره‌ای فت در سواحل چابهار. مدرس علوم انسانی– برنامه‌ریزی و آمایش فضا. شماره۲. صص ۱۰۱–۱۱۸.

قویدل رحیمی، یوسف؛ عباسی، اسماعیل؛ فرج زاده، منوچهر؛ ۱۳۹٤. واکاوی سازوکار و مخاطرات طوفان حاره‌ای نیلوفر. دانش مخاطرات. دوره دوم. شماره ۱. صص ۲۱–۳٤.

گلشنی، علی‌اصغر؛ تائبی، سهیلا ؛ ۱۳۸۷. مدل‌سازی عددی طوفان حاره‌ای گونو و امواج ناشی از آن در دریای عمان. نشریه مهندسی دریا. سال چهارم. شماره ۸ صص ۲۵–۳٤.

لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم؛ ۱۳۸۹. تحلیل سینوپتیکی طوفان گونو و اثرات آن بر جنوب شرق ایران. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۱. شماره پیاپی ۳۹. شماره ۳. صص ۱–۲۰.

مزرعه فراهانی، مجید؛ احمدی، مرضیه؛ ثقفی، محمدعلی؛ ۱۳۹٤. ارزیابی نیروهای مؤثر بر تشکیل و تقویت توفان حـاره‌ای گونـو با استفاده از مدل تحلیلی کیو و بررسی عملکرد مدل‌های عددی در تعیین شدت آن. فیزیک زمین و فضـا. شـماره ۲. صـص ۲۷۳- ۲۸۰.

مشهدی، لیلا؛ حاجی‌زاده ذاکر، ناصر؛ سلطان‌پور، محسن؛ مقیمی، سعید؛ ۱۳۹۲.شبیه‌سازی عـددی امـواج و مـد ناشـی از طوفـان گونو در خلیج چابهار. نشریه مهندسی دریـا. سال نهم. شماره ۱۷. صص۳۷-۵۰.

Dare, R., & Mcbride, J. (2011). Sea surface temperature response to tropical cyclones. *Monthly Weather Review*, *139*, 3798-3808.

ECMWF. (2016). European Centre for Medium-Range Weather Forecasts datasets website , ERA Interim, Daily,http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/

Emanuel, K. (2005). Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, *436*, 686-688.

Evan, A., & Camargo, J. (2010). A climatology of the Arabian Sea cyclonic storms. *Journal of Climate*, *24*, 140-158.

Haggag, M., & Badry, H. (2012). A hydrometeorological modeling study of tropical cyclone Phet in the Arabian Sea in 2010. *Atmospheric and Climate Sciences*, *2*, 174-190.

Indian Meteorological Department (IMD) Report. (2008). Report on Cyclonic Disturbances over the North Indian Ocean during 2007, *RSMC-Tropical Cyclones, New Delhi*, 1-98.

Indian Meteorological Department. (2016). Regional Specialized Meteorological Center for Tropical Cyclones over Northern Indian, *Indian Meteorological Department website*,( www.rsmcnewdelhi.imd.gov.in)

Mei, W., & Pasquere, C. (2013). Spatial and temporal characterization of sea surface temperature response to tropical cyclones. *Journal of Climate*, *26*, 3745-3765.

Neumann, C. J. (1993). Global overview, chapter 1 global guide to tropical cyclone forecasting, WMO. TC, (560).

Rana, A. S., Zaman, Q., Afzal , M., & Haroon, M. A. (2014). Characteristics of sea surface temperature of the Arabian sea coast of pakistan and impact of tropical cyclones on SST. *Pakistan Journal of Meteorology*, *11*, 61-70.

Wahiduzzaman, M. (2011). An analysis on cyclonic track in the coastal region of Bangladesh. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, *2*, 530-530.

Wu, L., Ni, Z., Duna, J., & Zong, H. (2013). Sudden tropical cyclone track changes over the western north pacific: a composite study. Monthly Weather Review, 141, 2597-2610.

Zhu, x., Sun, J., Liu, Z., Liu, Q., & Martin, J. (2007). A synoptic analysis of the inter-annual variability of winter cyclone activity in the Aleutian low region. *Journal Of Climate*, *20*, 1523-1538.